

# 利用Silvaco ATLAS模擬非晶矽缺陷密度和界面處載子在結合速率對異質界面太陽能電池效率之影響

林浣佑、張國雄

E-mail: 317688@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本研究主要探討異質界面太陽能電池的結構，即是在單多晶矽晶圓基板的正反面沉積非晶矽薄膜而形成異質界面太陽能電池。此結構結合了單晶矽太陽能電池的高穩定性及高效率和非晶矽太陽能電池的高吸光率的優點；在製程方面較容易、且在較低溫的環境下製作以及製程所需時間較短，達到較低成本的效果。我們是利用Silvaco公司的TCAD模擬軟體探討以n型單晶矽為基板的異質界面太陽能電池中的非晶矽材料及界面處的參數對於其輸出效率的影響。然後，優化其中的參數，以達到最高效率的異質界面太陽能電池。

關鍵詞：非晶矽、異質界面、太陽能電池、Silvaco TCAD、模擬

## 目錄

封面內頁 簽名頁 授權書 . . . . .	iii	中文摘要 . . . . .	
. . . . . iv 英文摘要 . . . . .		v 誌謝 . . . . .	
. . . . . vi 目錄 . . . . .		vii 圖目錄 . . . . .	
. . . . . x 表目錄 . . . . .		xiv	
第一章 緒論 . . . . . 1	1.1 前言 . . . . .		
. . . . . 1	1.2 研究背景 . . . . . 2	1.3 研究動機 . . . . .	
. . . . . 3	第二章 理論背景 . . . . . 4	2.1 太陽能光譜 . . . . .	
. . . . . 4	2.2 太陽能電池的操作原理 . . . . . 5	2.3 太陽能電池的等效電路 . . . . .	
. . . . . 8	2.3.1 理想太陽能電池的等效電路 . . . . . 8	2.3.2 實際的太陽能電池等效電路 . . . . . 9	
. . . . . 13	2.4 太陽能電池的轉換效率 . . . . . 11	2.5	
. . . . . 13	2.5.1 單多晶矽太陽能電池 . . . . . 13		
. . . . . 14	2.5.2 非晶矽太陽能電池 . . . . . 14	2.5.3 HIT異質界面太陽能電池 . . . . . 15	
. . . . . 17	2.5.4 GaAs太陽能電池 . . . . . 17	2.5.5 銅銦鎳碲(CIGS)太陽能電池 . . . . . 18	2.5.6
. . . . . 20	染料敏化(Dye - Sensitized)太陽能電池 . . . . . 20	第三章 Silvaco TCAD 元件模擬軟體 . . . . . 21	
. . . . . 21	3.1 Silvaco TCAD 元件模擬軟體簡介與使用 . . . . . 21	3.2 物理模型 . . . . .	
. . . . . 25	3.3 載子復合 . . . . . 25	3.3.1 直接復合(Direct Recombination) . . . . .	
. . . . . 26	3.3.2 間接復合(Indirect Recombination) . . . . . 28	3.3.3 表面復合(Surface Recombination) . . . . . 29	
. . . . . 31	3.4 歐傑復合(Auger Recombination) . . . . . 30	第四章 HIT異質界面太陽能電池模擬與結果 . . . . . 31	
. . . . . 32	4.1 模擬模型 . . . . . 31	4.1.1	
. . . . . 39	4.1.2 設定材料參數 . . . . . 36	4.2 非晶矽材料中的缺陷對太陽能電池輸出之影響 . . . . . 39	
. . . . . 42	4.2.1 比較各層非晶矽材料缺陷NTA、NTD對太陽能電池輸出之影響 . . . . . 42	4.3 界面處載子再結合速率對太陽能電池輸出之影響 . . . . . 55	4.3.1 載子再結合速率對太陽能電池輸出之影響 . . . . . 55
. . . . . 64	4.3.2 從改善製程探討如何降低載子再結合 . . . . . 62	第五章 結論 . . . . .	
. . . . . 64	參考文獻 . . . . . 66		

## 參考文獻

- [1]鄭晃中、戴寶通 教授，太陽能電池技術手冊，台灣電子材料與元件協會。
- [2] 施敏，半導體元件物理與製作技術，國立交通大學出版社。
- [3]Hamakawa, Yoshihiro, Thin-Film Solar Cells: Next Generation Photovoltaics and Its Applications [4]Jef Poortmans, Vladimir Arkhipov, Thin Film Solar Cells: Fabrication, Characterization and Applications [5]Markvart, Tom and Castaner, Luis, Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation, Oxford, UK, Elsevier, 556pp.
- [6]A. Kranzl, R. Kopecek, K. Peter, P. Fath, Bifacial Solar Cells on Multi-Crystalline Silicon with Boron BSF and Open Rear Contact, 2006 IEEE
- [7]A. Datta, J. Damon-Lacoste, M. Nath, P. Roca i Cabarrocas, P. Chatterjee, Dominant role of interfaces in solar cells with n-a-Si:H/p-c-Si

heterojunction with intrinsic thin layer, *Materials Science and Engineering B* 159 – 160 (2009) 10 – 13 [8]Bingyan Ren, Yan Zhang, Bei Guo, Bing Zhang, Hongyuan Li, Wenjing Wang, Lei Zhao, Computer Simulation of p-a-Si:H/n-c-Si Heterojunction Solar Cells, *Proceedings of ISES Solar World Congress 2007* [9]B. E. Pieters, H. Stiebig, M. Zeman, and R. A. C. M. M. van Swaaij, Determination of the mobility gap of intrinsic c-Si:H in p-i-n solar cells, *Journal of Applied Physics* 105, 044502 (2009) [10]L. Zhao, C.L. Zhou, H.L. Li, H.W. Diao, W.J. Wang, Design Optimization of Bifacial HIT Solar Cells on p-type Silicon Substrates by Simulation, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 92 (2008) 673 – 681 [11]L. Zhao, H.L. Li, C.L. Zhou, H.W. Diao, W.J. Wang, Optimized resistivity of p-type Si substrate for HIT solar cell with Al back surface field by computer simulation, *Solar Energy* 83 (2009) 812 – 816 [12]M. Schmidt, L. Korte, A. Laades, R. Stangl, Ch. Schubert, H. Angermann, E. Conrad, K.v. Maydell, Physical aspects of a-Si:H/c-Si hetero-junction solar cells, *Thin Solid Films* 515 (2007) 7475 – 7480 [13]N. Jensen, U. Rau, R. M. Hausner, S. Uppal, L. Oberbeck, R. B. Bergmann, and J. H. Werner, Recombination mechanisms in amorphous silicon/crystalline silicon heterojunction solar cells, *Journal of Applied Physics* Volume 87, Number 5 1 March 2000 [14]Norberto Hernandez-Como, Arturo Morales-Acevedo, Simulation of hetero-junction silicon solar cells with AMPS-1D, 2009 Published by Elsevier B.V. [15]Shui-Yang Lien, Bing-Rui Wu, Jun-Chin Liu, Dong-Sing Wu, Fabrication and characteristics of n-Si/c-Si/p-Si heterojunction solar cells using hot-wire CVD, *Thin Solid Films* 516 (2008) 747 – 750 [16]Shui-Yang Lien, and Dong-Sing Wu, Simulation and Fabrication of Heterojunction Silicon Solar Cells from Numerical Computer and Hot-Wire CVD, *Prog. Photovolt: Res. Appl.* 2009; 17:489 – 501 [17]U. K. Das, M. Z. Burrows, M. Lu, S. Bowden, and R. W. Birkmire, Surface Passivation and Heterojunction Cells on Si(100) and (111) Wafers Using DC and RF Plasma Deposited Si:H Thin Films, *Applied Physics Letters* 92, 063504 \_2008 [18]Y. Poissant, P. Chatterjee, P. Roca i Cabarrocas, Analysis and optimization of the performance of polymorphous silicon solar cells: Experimental characterization and computer modeling, *Journal of Applied Physics* Volume 94, Number 11, 1 December 2003